

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-119158

(43)Date of publication of application : 30.04.1999

(51)Int.Cl.

G02B 27/28  
G02B 6/122

(21)Application number : 09-286559

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 20.10.1997

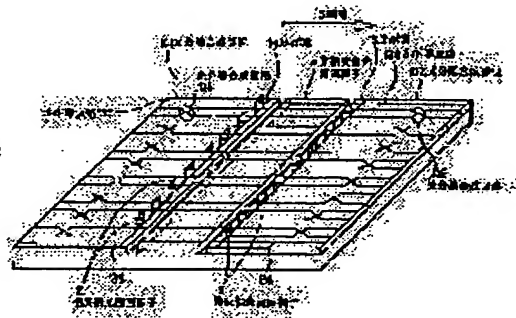
(72)Inventor : SHIMOKOZONO MAKOTO  
TATE AKIYUKI  
SUGIMOTO NAOTO  
SHINTAKU TOSHIHIRO  
OZAWAGUCHI HARUKI

## (54) OPTICAL CIRCULATOR ARRAY

## (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce a number of parts and to make an array small in size and light in weight by making an optical demultiplexer/multiplexer, non-reciprocal polarizing rotator and even a reciprocal polarizing rotator an array.

SOLUTION: A non-reciprocal polarizing rotator 4 is packaged on the surfaces of centers of optical demultiplexing/multiplexing circuit portions 101, 102 prepared on the same substrate and a sheet of polyimide plate is inserted for one waveguide as the reciprocal polarizing rotators 2, 3. The eight sets of optical demultiplexing/multiplexing circuits 131, 132 are arranged in parallel on the optical demultiplexing/multiplexing circuit portions 101, 102 and guiding waveguides 133, 134 for adjusting the optical axis are located on both ends. Guide grooves 14, 15 for installing the non-reciprocal polarizing rotators 2, 3 composed of half wavelength plate are provided in the optical demultiplexing/multiplexing circuit portions 101, 102. By representing angles between the slow axis and X axis of the reciprocal polarizing rotators 2, 3 by  $\theta s1$ ,  $\theta s2$  and the rotating angles of a waveguide type Faraday rotator by  $\theta f1$ ,  $\theta f2$ , the respective angles are set so as to satisfy the relations:  $\theta s1 - \theta s2 = \pm \delta/4$ ,  $\theta f1 + \theta f2 = \pm \delta/2 + 2n\delta$  (where n is an integer).



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-119158

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51) IntCl<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 27/28

G 0 2 B 27/28

A

6/122

6/12

C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願平9-286559

(22) 出願日 平成9年(1997)10月20日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 下小園 真

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 館 彰之

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 杉本 直登

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

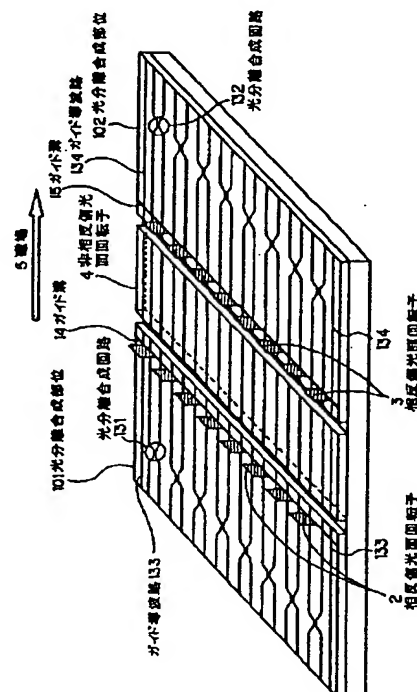
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光サーキュレータアレイ

(57) 【要約】

【課題】 干渉型のサーキュレータを採用し、更に分離合成回路や非相反偏波回転器や相反偏向面回転子をアレイ化する事によって、小型化と軽量化を図ることができる構成法を提供することを目的とするものである。

【解決手段】 光分離合成回路や非相反偏波面回転子やひいては相反偏波面回転子までもアレイ化し、その両端に光軸調整用の導波路を付けることによって実装を行うので、部品点数を減らすことができ必要最小限の光軸調整のみで全体の光軸を一致させることができることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 分離された光が伝搬される第1の光導波路、第2の光導波路と、前記第1、第2の光導波路の一端側に配置され、所定方向に進む光を該第2、第2の光導波路に分離して出力するとともに、該第1、第2の光導波路から入力される前記所定方向とは逆に進む光を合成する第1の光分離合成部位と、前記第1、第2の光導波路の他端側に配置され、前記所定方向とは逆に進む光を該第1、第2の分離して出力するとともに、該第1、第2の光導波路から入力される前記所定方向に進む光を合成する第2の光分離合成部位と、光の進行方向と垂直な面内に設定されたx-y座標について、前記第1の光導波路にファラデー回転角が $\theta_{r1}$ である第1の非相反偏光面回転子とx軸からのslow軸角度が $\theta_{s1}$ である半波長板からなる第1の相反偏光面回転子を所定方向にそって前記第1の非相反偏光面回転子、前記第1の和反回転子の順に配置した第1の偏光回転部位と、前記第2の光導波路にx軸からのslow軸角度が $\theta_{s2}$ である半波長板からなる第2の相反偏光面回転子とファラデー回転角が $\theta_{r2}$ である第2の非相反偏光面回転子を前記所定方向にそって前記第2の相反偏光面回転子、前記第2の非相反偏光面回転子の順に配置した第2の偏光回転部位から構成され、前記第1、第2の光導波路を伝搬する光のうち、前記所定方向に進む光については前記分離された光が同位相で干渉して合成され、前記所定方向とは逆に進む光については前記分離された光が逆位相で干渉して合成されるように、下式を満足するように設定されている光非相反回路からなる光サーキュレータユニットが、複数個並列に並びその光サーキュレータユニット群の最も外側の2つの光サーキュレータユニットの外側に更に

$$\theta_{s1} - \theta_{s2} = \pm \pi / 4$$

$$\theta_{r1} + \theta_{r2} = \pm \pi / 2 + 2n\pi \quad (\text{但し、} n \text{ は整数})$$

【請求項2】 請求項1記載の光サーキュレータアレイにおいて、半波長板からなる板状の前記第1の相反偏光面回転子を前記第1の光導波路に設置した溝に挿入することにより配置し、半波長板からなる板状の前記第2の相反偏光面回転子を前記第2の光導波路に設置した溝に挿入することを特徴とする光サーキュレータアレイ。

【請求項3】 請求項1記載の光サーキュレータアレイにおいて、半波長板からなる板状の前記第1の相反偏光面回転子を前記第1の非相反偏光面回転子に貼付け、半波長板からなる板状の前記第2の相反偏光面回転子を前記第2の非相反偏光面回転子に貼付けることを特徴とする光サーキュレータアレイ。

【請求項4】 請求項1又は2記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記光分離合成部位が3dB方向性結

合器よりなることを特徴とする光サーキュレータアレイ。

【請求項5】 請求項1又は2記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記光分離合成部位がマルチモード干渉器よりなることを特徴とする光サーキュレータアレイ。

【請求項6】 請求項1又は2記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記光分離合成部位がX分岐よりなることを特徴とする光サーキュレータアレイ。

10 【請求項7】 請求項1又は2記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記光分離合成部位がマッハ・ツェンダ干渉器よりなることを特徴とする光サーキュレータアレイ。

【請求項8】 請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記半波長板がポリイミド半波長板よりなり、隣り合った異なる基本単位に属する2つの導波路に渡って1つの半波長板を挿入することを特徴とする光サーキュレータアレイ。

20 【請求項9】 請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記半波長板がポリイミド半波長板よりなり、櫛状に加工した1つの半波長板を挿入することを特徴とする光サーキュレータアレイ。

【請求項10】 請求項1、2、3、4、5、6又は7記載の光サーキュレータアレイにおいて、前記半波長板がポリイミド半波長板よりなり、隣り合った異なる基本単位に属する2つの導波路に渡って1つの半波長板を挿入する間隔でガラス板に貼り付けたものを挿入することを特徴とする光サーキュレータアレイ。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光サーキュレータアレイに関する。詳しくは、光通信や光情報処理の分野で用いられる種々の導波型光回路を構成する上での構成要素の一つである導波型光サーキュレータに関する。

【0002】

【従来の技術】光位相の制御を利用した干渉型の光サーキュレータは、高価で集積化が困難な偏光ビームスプリッタを使用する光サーキュレータに比べ、安価であるため優れている（特願平9-42584号）。特に相反偏光面回転子として板状のバルク型半波長板を用いる干渉型光サーキュレータは、部品コストが導波路型半波長板を用いたものに比べて安く有利である。

【0003】図9は、干渉型偏波無依存光アイソレータの基本的な構成を示したもので、2本の単一モード光導波路27、28を用いて作製された3dBカップラと、2本の導波路型ファラデー回転子からなる非相反偏光面回転子4'と、半波長板からなる相反偏光面回転子2、3とから構成される。このような構成において、光導波路27の一方から出射した光は光導波路28の一方へ入

射するが、この際、図中下側の光路を通る光は非相反偏光面回転子4'、相反偏光面回転子3を透過することにより、また、図中上側の光路を通る光は相反偏光面回転子2、非相反偏光面回転子4'を透過することにより、それぞれ偏光面の回転を受ける。

【0004】逆に、光導波路28の一方から出射した光のうち図中下側の光路を通る光は相反偏光面回転子3、非相反偏光面回転子4'を透過することにより、また、図中上側の光路を通る光は非相反偏光面回転子4'、相反偏光面回転子2を透過することにより、それぞれ偏光面

$$\theta_{r1} - \theta_{r2} = \pm \pi / 4 \quad \dots (1)$$

$$\theta_{r1} + \theta_{r2} = \pm \pi / 2 + 2n\pi \quad (\text{但し、} n \text{ は整数}) \quad \dots (2)$$

【0006】このデバイスは、 $\theta_{r1}$ 、 $\theta_{r2}$ 、 $\theta_{t1}$ 、 $\theta_{t2}$ を上記の関係に設定することにより、光の進行方向により、非相反偏光面回転子4'、相反偏光面回転子2を透過した上側の光路を通る光と相反偏光面回転子3、非相反偏光面回転子4'を透過した下側の光路を通る光の位相を同相又は逆相とし、出射側の光導波路型3dBカップラ部位における結合光の出射導波路を同相又は逆相に応じて入射導波路のスルー及びクロス導波路の何れかを

選択し、光アイソレータとして機能する。  
【0007】図10は、偏光ビームスプリッタ、バルク型波長板、バルク型非相反偏光面回転子を用いた従来の偏波分離型サークキュレータの構成を示すものである。図10に示す従来の偏波分離型サークキュレータは、レンズ51、偏光ビームスプリッタ54、非相反偏光面回転子52、波長板53から構成され、順路の光路を55で、逆路の光路を56で示す。

【0008】このような従来構成では、複数個の部品をまとめて作ろうとすると、部品点数が増え、更に作製するデバイスの数だけ光軸を合わせなければならないために、組み立てに時間がかかるという問題点があった。また、体積を取るために小型化できないという問題点があった。更に半波長板の方向制御性が悪いために特性の揃った素子を多数個同時に作ることは困難であった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、干渉型のサークキュレータを採用し、更に分離合成回路や非相反偏光面回転器や相反偏光面回転子をアレイ化する事によって、小型化と軽量化を図ることができる構成法を提供することを目的とするものである。また、必要最小限の数の導波路においてのみ光軸調整を行うことによって全数の光軸が一致し、実装にかかる時間を大幅に短縮することを目的とするものである。更に、相反偏光面回転子をアレイ化することにより特性の揃った素子を多数作ることを目的とするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】かかる目的を達成する本発明の光サークキュレータアレイでは、図9に示すような

\*面の回転を受けた後、光導波路27の一方へ出射される。ここで、光が図中右向きに媒の方向をZ軸、Z軸に垂直な面内の適当な方向に互いに直角なX軸とY軸を設定し、XY平面の時計回りの回転を正とする。

【0005】また、半波長板からなる相反偏光面回転子2、3のslow軸とX軸のなす角度を $\theta_{r1}$ 、 $\theta_{r2}$ とし、非相反偏光面回転子4'である導波路型ファラデー回転子の回転角を $\theta_{t1}$ 、 $\theta_{t2}$ とすると、これらの角度は、下式(1)(2)の条件を満足するように設定されている。

従来型光サークキュレータを単位とする光サークキュレータユニットの構成要素である光分離合成回路や非相反偏光面回転子やひいては相反偏光面回転子までもアレイ化し、その両端に光軸調整用の導波路を付けることによって実装を行うので、部品点数を減らすことができ必要最小限の光軸調整のみで全体の光軸を一致させることができることを特徴とする。

【0011】光分離合成回路としては所謂3dBカブラーと同等な機能を示す3dB分岐回路である方向性結合器回路、X分岐回路、マッハツェンダー干渉計からなる回路(例えばK.Jinguji 他: Electronics Letter, vol. 26, No.17, p1326-1327, 1990)及びマルチモード干渉器からなる回路(例えばL.B.Soldano 他: Journal of lightwave Technology, vol.10, No.12, p1843-1850, 1992)等であればよい。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明について実施例を参照にして詳細に説明する。尚、以下の本実施例では、8アレイについてのみ記述したが、2個以上のアレイであれば本発明による効果が現れるのは言うまでもない。

【0013】【実施例1】本発明の第1の実施例に係る干渉型導波型光サークキュレータアレイを図1に示す。本実施例では、同一基板上に作製した光分離合成部位101、102の中央に非相反偏光面回転子4を表面実装した形態で且つ相反偏光面回転子2、3としてポリイミド板を1つの導波路に対して1枚挿入したものである。光分離合成部位101、102は、同一基板の上に作製した平面光波回路で一組の光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する。

【0014】光分離合成回路131、132としては、所謂3dBカブラーと同等な機能を示す3dB分岐回路である方向性結合器回路、X分岐回路、マッハツェンダー干渉計からなる回路及びマルチモード干渉器からなる。ガイド導波路133、134は、光軸調整のために用いられる。相反偏光面回転子2、3は、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板よりなる。光分離合成部位101、102には、半波長

板からなる相反偏光面回転子2、3を設置するためのガイド溝14、15が設けられている。

【0015】非相反偏光面回転子4は、 $(LaY_{1-x})$ 、 $(GaFe_{1-x})$ 、 $O_{1-x}$ からなる。また、半波長板からなる相反偏光面回転子2、3のslow軸とX軸のなす角度を $\theta_{11}$ 、 $\theta_{12}$ とし、非相反偏光面回転子4である導波路型ファラデー回転子の回転角を $\theta_{r1}$ 、 $\theta_{r2}$ とすると、これらの角度は、前述した条件式(1)(2)を満足するように設定されている。尚、本実施例の光サーキュレータアレイの基本単位である光分離合成部位101、102は、干渉型導波型光サーキュレータユニットの構成要素である光導波路27、28よりなる。

【0016】本実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は1.55 $\mu$ mに設定した。光分離合成部位101及び102として火炎堆積法と反応性イオンエッチングにより同一Si基板の上に作製した石英系ガラス埋込み型導波路からなる平面光波回路で、一組の3dB方向性結合器からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。石英系ガラス埋込み型導波路の導波長のフィールド径2 $\omega$ は10.5 $\mu$ mとした。

【0017】ガイド溝14及び15は、ダイシングソーを用いて形成した。ガイド溝14及び15の幅及び深さは30 $\mu$ m及び100 $\mu$ mとし、非相反偏光面回転子アレイ4に接続する端から150 $\mu$ mの位置に配置した。相反偏光面回転子2及び3としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板をそれぞれ8枚ずつ用いた。相反偏光面回転子2及び3の厚さは16 $\mu$ mとした。

【0018】非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエッチングで作製した $(LaY_{1-x})$ 、 $(GaFe_{1-x})$ 、 $O_{1-x}$ 埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。非相反偏光面回転子アレイ4の長さは3.02mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。

【0019】なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5をSm-Co磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイ4の端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートを施した。光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。

【0020】本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離合成部位101及び102と光ファイバー

の接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、第11図にポート対応図を示したようにポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。

【0021】またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7 $\times$ 45mmである。これを8素子並べると56 $\times$ 45mmの大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは30 $\times$ 30mmと小型化が図られた。

【0022】また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テープファイバとの接続部に石英光回路基板上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250 $\mu$ mピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。この比較から明らかに本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。

【0023】なお、本実施例では光分離合成部位101及び102として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0024】〔実施例2〕本発明の第2の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図2に示す。尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重



複する説明を省略する。本実施例は、同一基板上に作製した光分離成部位101、102の中央に非相反偏光面回転子4を表面実装した形態で且つ相反偏光面回転子2、3として隣り合った導波路に同時に1つの半波長板を挿入する配置でポリイミド板を挿入したものである。

【0025】本実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は1.55 $\mu$ mに設定した。光分離成部位101及び102として火炎堆積法と反応性イオンエッチングにより同一Si基板の上に作製した石英系ガラス埋込み型導波路からなる平面光波回路で、一組のMMI（マルチモード干渉器）からなる光分離成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離成回路アレイを用いた。石英系ガラス埋込み型導波路の導波光のフィールド径2 $\omega$ は8 $\mu$ mとした。ガイド溝14及び15は、ダイシングソーを用いて形成した。

【0026】ガイド溝14及び15の幅及び深さは30 $\mu$ m及び100 $\mu$ mとし、非相反偏光面回転子アレイ4に接続する端から150 $\mu$ mの位置に配置した。相反偏光面回転子2及び3としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板をそれぞれ4枚ずつ用い、隣り合った光サーキュレータユニットの隣り合った導波路について1枚の相反偏光面回転子がかかるような配置で実装した。相反偏光面回転子2及び3の厚さは16 $\mu$ mとした。非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット（GGG）基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエッチングで作製した（La<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>）、（Ga<sub>x</sub>Fe<sub>1-x</sub>）、O<sub>1</sub>埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。

【0027】非相反偏光面回転子アレイ4の長さは3.02mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5をSm-Co磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートをした。光分離成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。

【0028】なお、光分離成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離成部位101及び102と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1

10

20

30

40

50

-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。

【0029】またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7 $\times$ 45mmである。これを8素子並べると56 $\times$ 45mmの大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは30 $\times$ 30mmと小型化が図られた。

【0030】また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テーパーファイバとの接続部に石英光回路基板上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250 $\mu$ mピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。この比較から明らかに本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。

【0031】なお、本実施例では光分離成部位101及び102として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス（Ta酸化物、Nb酸化物等）、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイトガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0032】〔実施例3〕本発明の第3の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図3に示す。尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重複する説明を省略する。本実施例では、同一基板上に作製した光分離成部位101、102の中央に非相反偏光面回転子4を表面実装した形態で且つ櫛状に加工したポリイミド板からなる相反偏光面回転子22、23を挿入したものである。

【0033】相反偏光面回転子22、23は、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板を櫛状に加工したものである。本実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は1.30 $\mu\text{m}$ に設定した。光分離合成部位101及び102として同一Si基板の上にスピンコートと反応性イオンエッチングにより作製した高分子材料PMMAからなる埋込み型導波路の平面光波回路で、一組のX分岐回路からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。

【0034】PMMA導波路の導波光のフィールド径2 $\omega$ は9 $\mu\text{m}$ とした。相反偏光面回転子22及び23としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板を櫛状に加工したものをを用いた。相反偏光面回転子22及び23の厚さは16 $\mu\text{m}$ とした。相反偏光面回転子22、23は光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子4の間に挟み込んで、石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエッチングで作製した( $\text{La}_x\text{Y}_{1-x}$ ), ( $\text{Ga}_x\text{Fe}_{1-x}$ ),  $\text{O}_{12}$ 埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。

【0035】非相反偏光面回転子アレイ4の長さは1.48mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5をSm-Co磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートをした。光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。

【0036】本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離合成部位101及び102と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。またそれぞ

れのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。

【0037】従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7 $\times$ 45mmである。これを8素子並べると56 $\times$ 45mmの大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは30 $\times$ 30mmと小型化が図られた。また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調整して接続する時間は320分を要した。

【0038】これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テープファイバとの接続部に石英光回路基板上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250 $\mu\text{m}$ ピッチの光ファイバーアレイを両端に調整して接続する時間は、80分であった。この比較から明らかなように本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。なお、本実施例では光分離合成部位101及び102として高分子材料PMMAからなる埋込み型導波路の平面光波回路を用いたが、石英系ガラス、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0039】また、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、PMMA以外のポリマー材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0040】〔実施例4〕本発明の第4の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図4に示す。

尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重複する説明を省略する。本実施例では、同一基板上に作製した光分離合成部位101、102の中央に非相反偏光面回転子4を表面実装した形態で且つ櫛状に加工したポリイミド板からなる相反偏光面回転子22、23を隣り合った導波路に同時に1つの半波長板の歯の部分挿入する配置で挿入したものである。

【0041】本実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は1.30 $\mu\text{m}$ に設定した。光分離合成部位101及び102として同一Si基板の上にスピンコートと反応性イオンエッチングにより作製した高分子材料のポリイミドからなる埋込み型導波

路の平面光波回路で、一組のマッハ・ツェンダ干渉回路からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。ポリイミド導波路の導波光のフィールド径 $2\omega$ は $10.5\mu\text{m}$ とした。相反偏光面回転子32及び33としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板を櫛状に加工し、隣り合った光サーキュレータユニットの隣り合った導波路に歯の部分がかかるような配置で実装した。相反偏光面回転子32及び33の厚さは

16 $\mu\text{m}$ とした。  
 【0042】相反偏光面回転子32、33は光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子4の間に挟み込んで、石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエッチングで作製した $(\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_3(\text{Ga}_x\text{Fe}_{1-x})_2\text{O}_{12}$ 埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。非相反偏光面回転子アレイ4の長さは1.48mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。

【0043】なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5を $\text{Sm-Co}$ 磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートを実施した。光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位101及び102と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。

【0044】本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離合成部位101及び102と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。

【0045】またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7

$\times 45\text{mm}$ である。これを8素子並べると $56 \times 45\text{mm}$ の大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは $30 \times 30\text{mm}$ と小型化が図られた。

【0046】また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テープファイバとの接続部に石英光回路基板の上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250 $\mu\text{m}$ ピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。この比較から明らかにように本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。

【0047】なお、本実施例では光分離合成部位101及び102として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、ポリイミド以外のポリマー材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0048】【実施例5】本発明の第5の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図5に示す。尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重複する説明を省略する。本実施例は、非相反偏光面回転子4を分割された光分離合成部位201、202で挟んで端面実装した形態で且つ相反偏光面回転子2、3としてポリイミド板を1つの導波路に対して1枚挿入したものである。光分離合成部位201、202は、非相反偏光面回転子4を挟む平面光波回路で一組の光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する。

【0049】本実施例の光サーキュレータアレイの基本単位である光分離合成部位201、202は、干渉型導波型光サーキュレータユニットの構成要素である光導波路27、28よりなる。本案実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は $1.55\mu\text{m}$ に設定した。光分離合成部位201及び202として火炎堆積法と反応性イオンエッチングによりSi基板の上に作製した石英系ガラス埋込み型導波路からなる平面光

波回路で、一組のマッハ・ツェンダ干渉器からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。石英系ガラス埋込み型導波路の導波光のフィールド径 $2\omega$ は $10.5\mu\text{m}$ とした。ガイド溝14及び15は、ダイシングソーを用いて形成した。

【0050】ガイド溝14及び15の幅及び深さは $30\mu\text{m}$ 及び $100\mu\text{m}$ とし、非相反偏光面回転子アレイ4に接続する端から $150\mu\text{m}$ の位置に配置した。相反偏光面回転子2及び3としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板をそれぞれ8枚ずつ用いた。相反偏光面回転子2及び3の厚さは $16\mu\text{m}$ とした。非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエッチングで作製した $(\text{La}_{0.5}\text{Y}_{0.5})$ 、 $(\text{GaFe}_{0.5})$ 、 $\text{O}_{1.5}$ 埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。非相反偏光面回転子アレイ4の長さは $3.02\text{mm}$ とし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。

【0051】なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5を $\text{Sm-Co}$ 磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートを実施した。分離合成部位131及び132と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。

【0052】本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離合成部位201及び202と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。

【0053】従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい $7\times 45\text{mm}$ である。これを8素子並べると $56\times 45\text{mm}$ の大きさになる。これに対して本実施例では8

素子あたりの大きさは $30\times 30\text{mm}$ と小型化が図られた。また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テープファイバとの接続部に石英光回路基板上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の $250\mu\text{m}$ ピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。

【0054】この比較から明らかなように本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。なお、本実施例では光分離合成部位201及び202として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0055】また、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、PMMA等のポリマー材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0056】〔実施例6〕本発明の第6の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図6に示す。尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重複する説明を省略する。本実施例は、非相反偏光面回転子4を分割された光分離合成部位201、202で挟んで端面実装した形態で且つ相反偏光面回転子2、3として隣り合った導波路に同時に1つの半波長板を挿入する配置でポリイミド板を挿入したものである。本実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は $1.55\mu\text{m}$ に設定した。

【0057】光分離合成部位201及び202として火炎堆積法と反応性イオンエッチングによりSi基板の上に作製した石英系ガラス埋込み型導波路からなる平面光波回路で、一組のX分岐回路からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。石英系ガラス埋込み型導波路の導波光のフィールド径 $2\omega$ は $9\mu\text{m}$ とした。ガイド溝14及び15は、ダイシングソーを用いて形成した。ガイド溝14及び15の幅及び深さは $30\mu\text{m}$ 及び $100\mu\text{m}$ とし、非相反偏光面回転子アレイ4に接続する端から $150\mu\text{m}$ の位置に配置した。

【0058】相反偏光面回転子2及び3としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板をそれぞれ4枚と5枚用い、隣り合った光サーキュレータユニットの隣り合った導波路について1枚の相反偏光面回転子がかかるような配置で実装した。相反偏光面回転子2及び3の厚さは16 $\mu$ mとした。非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエッチングで作製した(La<sub>3</sub>Y<sub>1-x</sub>)(Ga<sub>3</sub>Fe<sub>1-x</sub>)O<sub>12</sub>埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。非相反偏光面回転子アレイ4の長さは3.02mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。

【0059】なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5をSm-Co磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートを実施した。光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。

【0060】本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離合成部位201及び202と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。

【0061】従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7×45mmである。これを8素子並べると56×45mmの大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは30×30mmと小型化が図られた。また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テーパーファイバとの接続部に石英光回路基板上にV

溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250 $\mu$ mピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。

【0062】この比較から明らかなように本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。なお、本実施例では光分離合成部位201及び202として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製等間の短縮効果を得られることが確認された。

【0063】また、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。またPMM A、ポリイミド、エポキシ、ポリシロキサン、ポリウレタン等の高分子材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0064】〔実施例7〕本発明の第7の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図7に示す。

尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重複する説明を省略する。本実施例は、非相反偏光面回転子4を分割された光分離合成部位201、202で挟んで端面実装した形態で且つ櫛状に加工したポリイミド板からなる相反偏光面回転子22、23を挿入したものである。本実施例では作製する干渉型導波型光サーキュレータアレイの動作波長は1.30 $\mu$ mに設定した。

【0065】光分離合成部位201及び202として火炎堆積法と反応性イオンエッチングによりSi基板の上に作製した石英系ガラス埋込み型導波路からなる平面光波回路で、一組のマルチモード干渉器からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。石英系ガラス埋込み型導波路の導波光のフィールド径2 $\omega$ は8 $\mu$ mとした。相反偏光面回転子22及び23としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板を櫛状に加工したものをを用い、歯の部分が上を向くように配置した。相反偏光面回転子22及び23の厚さは16 $\mu$ mとした。

【0066】相反偏光面回転子22、23は光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子4の間に挟み込んで、石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。非相反偏光面回転子4としては、ガドリニウムガリウムガーネット(GGG)基板の上に液相エピタキシャル成長法とイオンビームエ



ッチングで作製した $(\text{La}, \text{Y}_{1-x})$ ,  $(\text{Ga}, \text{Fe}_{1-x})$ ,  $\text{O}_3$ 埋込み型導波路が18本並列に並んだ導波路型非相反偏光面回転子アレイを用いた。非相反偏光面回転子アレイ4の長さは1.48mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ ラジアンとした。なお、非相反偏光面回転子アレイ4には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5をSm-Cr磁石により印加した。

【0067】更に、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートをした。光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子アレイ4は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。なお、光分離合成部位201及び202と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型導波型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。

【0068】またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7×45mmである。これを8素子並べると56×45mmの大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは30×30mmと小型化が図られた。

【0069】また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テーパーファイバとの接続部に石英光回路基板上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250μmピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。この比較から明らかに本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。

【0070】なお、本実施例では光分離合成部位201及び202として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化

物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、PMMA等のポリマー材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0071】〔実施例8〕本発明の第8の実施例に係る干渉型導波型光サーキュレータアレイを図8に示す。尚、前述した実施例と同一部分には同一番号を付して重複する説明を省略する。本実施例は、バルク型非相反偏光面回転子4''を分割された光分離合成部位201、202で挟んで端面実装した形態で且つ櫛状に加工したポリイミド板からなる相反偏光面回転子32、33を隣り合った導波路に同時に1つの半波長板の歯の部分挿入する配置で挿入したものである。相反偏光面回転子32、33は、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板を櫛状に加工したものである。

【0072】バルク型非相反偏光面回転子4''は、 $(\text{Bi}, \text{Y}_{1-x})$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_5$ からなる。本実施例では作製する干渉型光サーキュレータアレイの動作波長は1.30μmに設定した。光分離合成部位201及び202として火炎堆積法と反応性イオンエッチングによりSi基板の上に作製した石英系ガラス埋込み型導波路からなる平面光波回路で、一組の3dB方向性結合器からなる光分離合成回路131及び132が8組並列に並びその両端に光軸調整用のガイド導波路133及び134を有する光分離合成回路アレイを用いた。石英系ガラス埋込み型導波路の導波光のフィールド径2φは10.5μmとした。

【0073】相反偏光面回転子32及び33としては、ポリイミド薄膜を熱延伸することにより複屈折性をもたせた半波長板を櫛状に加工し、隣り合った光サーキュレータユニットの隣り合った導波路に歯の部分がかるような配置で実装した。ガイド溝14及び15は、ダイシングソーを用いて形成した。ガイド溝14及び15の幅及び深さは30μm及び100μmとし、バルク型非相反偏光面回転子アレイ4''に接続する端から150μmの位置に配置した。相反偏光面回転子32及び33の厚さは16μmとした。非相反偏光面回転子4''としてはカチオン置換ガドリニウムガリウムガーネット(NOG)基板の上に液相エピタキシャル成長法で作製した $(\text{Bi}, \text{Y}_{1-x})$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_5$ 厚膜からなるバルク型回転子を用いた。バルク型の非相反偏光面回転子4''の厚さは

0.5mmとし、偏光面回転角は $\pi/4$ とした。

【0074】なお、非相反偏光面回転子4'には磁気光学効果を引き起こすため、図中矢印で示すように磁場5をSm-Co磁石により印加した。さらに、非相反偏光面回転子アレイの端面には端面での反射を防止するために石英系ガラスの屈折率に対する反射防止コートをし、光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子4'は石英系ガラスと屈折率を整合させたUV硬化型の接着材により接続固定した。なお、光分離合成部位201及び202と非相反偏光面回転子アレイ4の接続面は導波路に対して垂直とした。本実施例の干渉型導波型光サーキュレータ8アレイの32個のポートに光ファイバーを接続した。

【0075】なお、光分離合成部位201及び202と光ファイバーの接続面は、端面での反射を防止するために導波路に対して垂直から8度傾くように設定した。1番目の干渉型導波型光サーキュレータユニットの各ポートから光を入射したところ、ポート1-1から入射した光はポート1-2へ、ポート1-2から入射した光はポート1-3へ、ポート1-3から入射した光はポート1-4へ、ポート1-4から入射した光はポート1-1へ出射し、光サーキュレータとして動作することが確認され、これはその他の干渉型光サーキュレータユニットのそれぞれのポートにおいてもすべて確認された。またそれぞれのポートにおける逆方向に光を入射した際のアイソレーションの値は20dB程度の値を示した。各ポートの反射減衰量は30dB程度であった。

【0076】従来のバルク型でかつ偏光分離回路を両端に有するサーキュレータの1素子あたりの大きさはせいぜい7×45mmである。これを8素子並べると56×45mmの大きさになる。これに対して本実施例では8素子あたりの大きさは30×30mmと小型化が図られた。また、サーキュレータ8素子分に対して光ファイバー接続を行う場合、従来のバルク型でかつ偏光分離素子を両端に有するサーキュレータを8素子分32端子調芯して接続する時間は320分を要した。これに対して、本実施例の光サーキュレータアレイは石英系導波路と16芯テープファイバとの接続部に石英回路基板上にV溝加工を施すことによって、16芯の光ファイバーアレイを一度に接続することができ、16芯の250 $\mu$ mピッチの光ファイバーアレイを両端に調芯して接続する時間は、80分であった。

【0077】この比較から明らかなように本実施例により、作製時間の大幅な短縮が実現できた。なお、本実施例では光分離合成部位201及び202として石英系ガラスでできた導波路からなる平面光波回路を用いたが、多成分系ガラス、重金属酸化物ガラス(Ta酸化物、Nb酸化物等)、シリコンオキシナイトライド、カルコゲナイドガラス等の他のガラス材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型

化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>、PLZT、ガーネット等の酸化物光学結晶材料、InP系及びGaAs系等の半導体材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。また、PMMA等のポリマー材料でできた導波路からなる平面光波回路を用いても、本実施例の素子サイズの小型化と作製時間の短縮効果を得られることが確認された。

【0078】なお、実施例1〜8では動作波長を1.3 $\mu$ mまたは1.55 $\mu$ mに設定したが、他の設定波長の干渉型偏波無依存光アイソレータの作製方法に適用してもそれぞれの実施例と同様な効果が確認された。また、相反偏光面回転子2, 3, 22, 23にポリミド半波長板を使用した。設定波長で通用可能ならば他の高分子材料や水晶、方解石等の他の種類の半波長板を適用しても同様な効果が確認された。さらに、非相反偏光面回転子4の材料に(La<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>), (Ga<sub>x</sub>Fe<sub>1-x</sub>), O<sub>1.2</sub>または(Bi<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を使用した。設定波長で適用可能ならば鉛ガラス、希薄磁性半導体や他の種類の希土類鉄ガーネット単結晶等の他の材料を適用しても同様な効果が確認された。

【0079】

【発明の効果】以上、説明したように、本発明の干渉型偏波無依存光アイソレータアレイは、光分離合成回路や非相反偏波面回転子やひいては相反偏波面回転子までもアレイ化するので、部品点数を減らすことができ、よって小型化と軽量化を図ることができ、光サーキュレータユニット群の両端に光軸調整用のガイド導波路を付けることによって実装を行うので、必要最小限の光軸調整のみで全体の光軸を一致させることができ、実装にかかる時間を大幅に短縮することができ、更に、相反偏波面回転子をアレイ化することにより特性の揃った素子を多数作ることができる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図2】本発明の第2の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図3】本発明の第3の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図4】本発明の第4の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図5】本発明の第5の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図6】本発明の第6の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図7】本発明の第7の実施例に係る光サーキュレータアレイを示す斜視図である。

【図8】本発明の第8の実施例に係る光サーキュレータ

アレイを示す斜視図である。

【図9】本発明の光サーキュレータアレイの基本単位である干渉型導波型光サーキュレータユニットを示す説明図である。

【図10】従来型の偏光ビームスプリッタを使用する光サーキュレータを示す説明図である。

【図11】本発明の光サーキュレータアレイの各光サーキュレータユニットに於けるポート番号の対応図である。

【符号の説明】

2, 3, 22, 23, 32, 33 相反偏光面回転子

4, 4', 4'' 非相反偏光面回転子

\* 5 磁場

14, 15 ガイド溝

27, 28 光分離合成部位 (光導波路)

51 レンズ

52 非相反偏波面回転子

53 波長板

54 偏波ビームスプリッタ

55 順路の光路

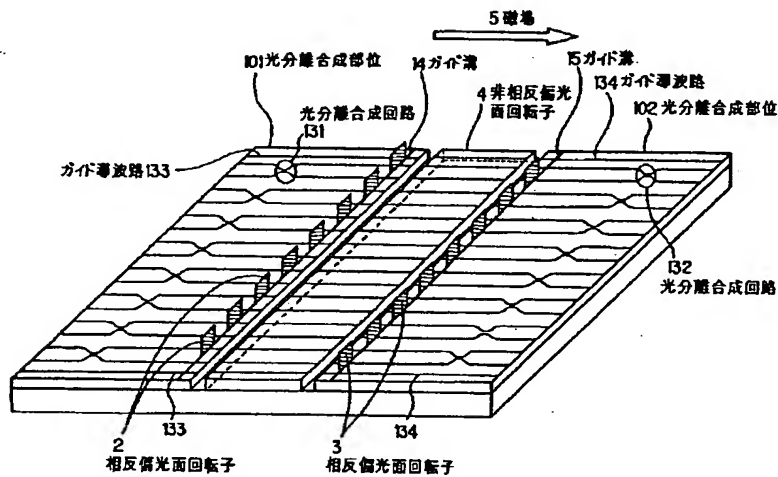
56 逆路の光路

10 101, 102, 201, 202 光分離合成部位

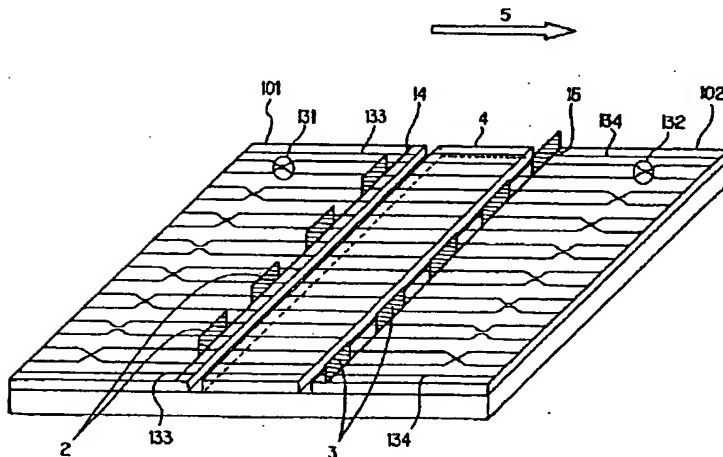
131, 132 光分離合成回路

\* 133, 134 ガイド導波路

【図1】

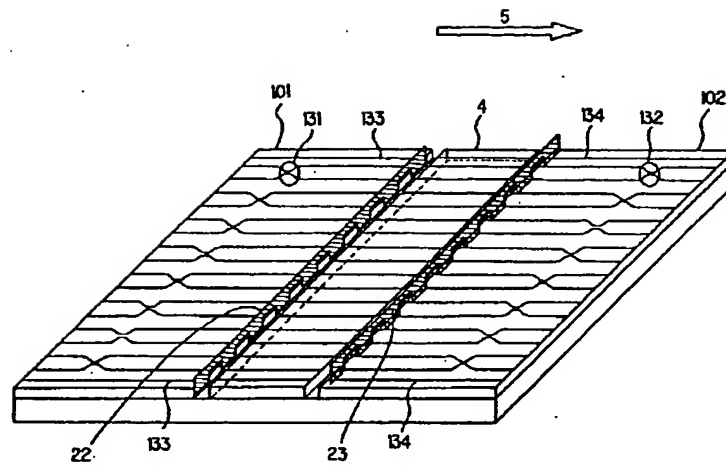


【図2】

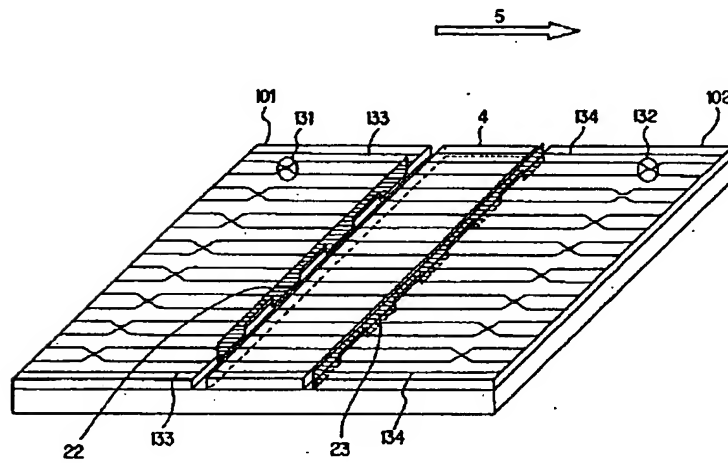




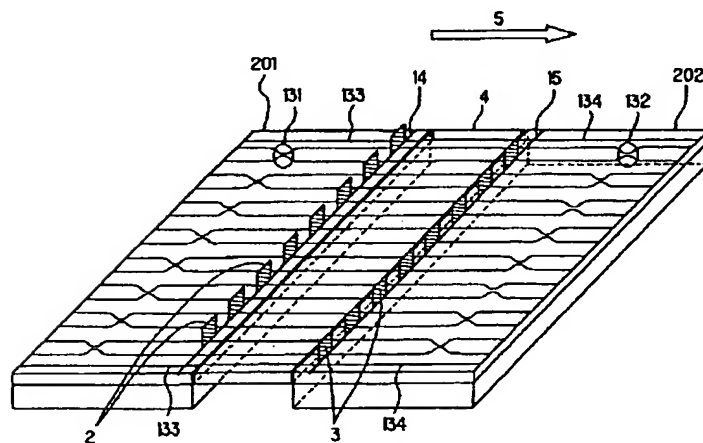
【図3】



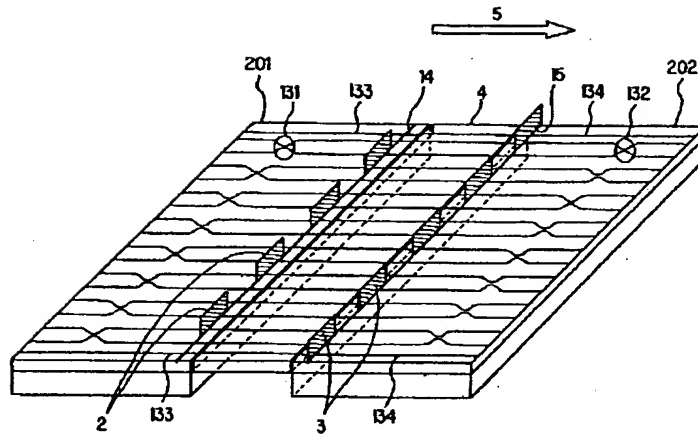
【図4】



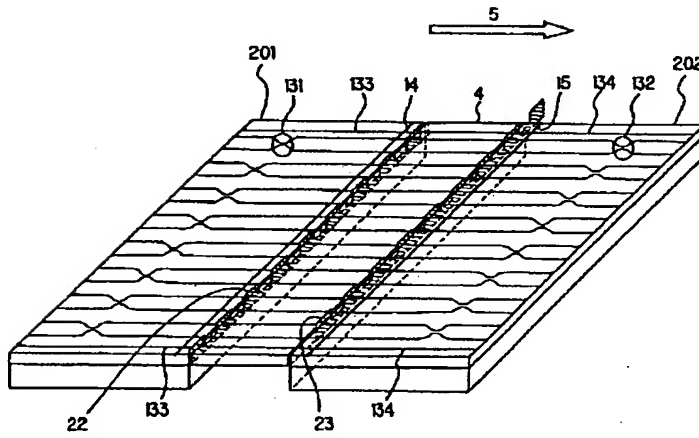
【図5】



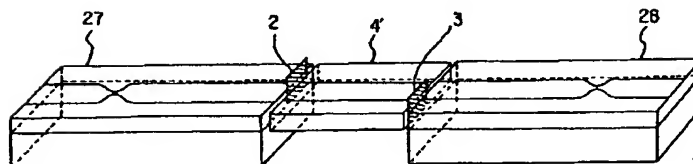
【図6】



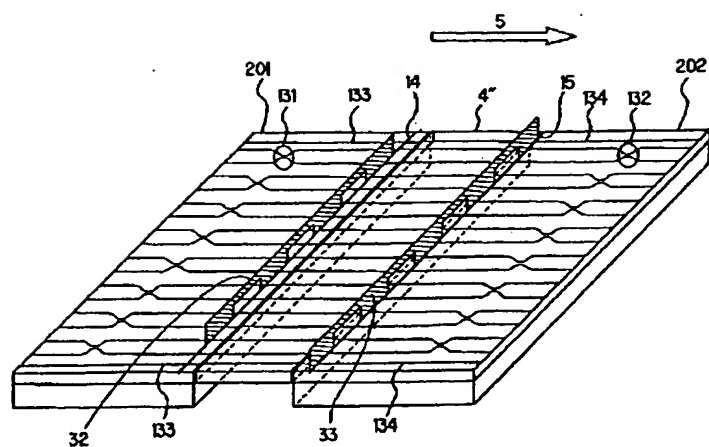
【図7】



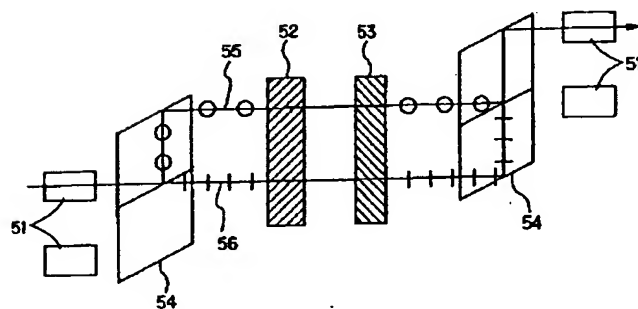
【図9】



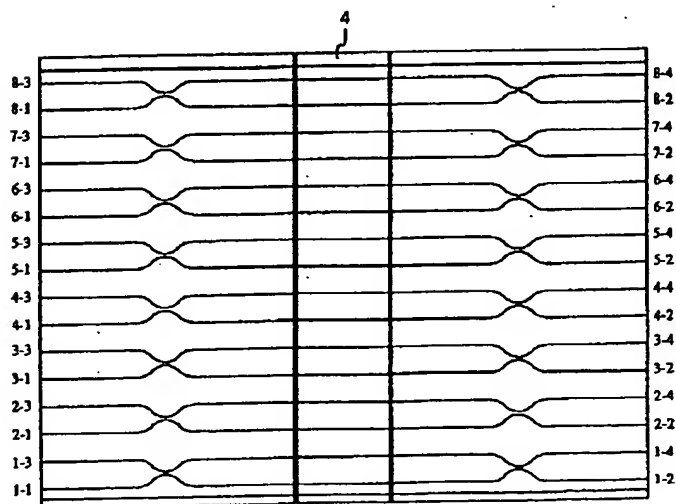
【図8】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 新宅 敏宏

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 小澤口 治樹

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内